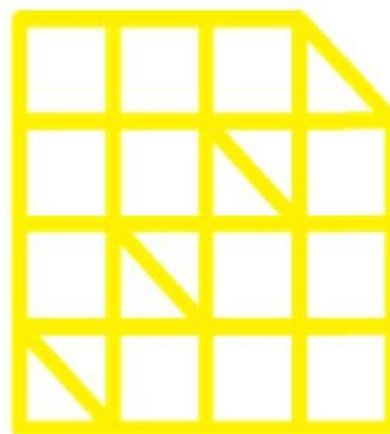


**INSTITUTO  
DE ALTOS ESTUDIOS  
NACIONALES**  
LA UNIVERSIDAD  
DE POSGRADO  
DEL ESTADO



**REPÚBLICA DEL ECUADOR.**

**INSTITUTO DE ALTOS ESTUDIOS NACIONALES  
LA UNIVERSIDAD DE POSGRADO DEL ESTADO**

**Maestría en Prevención y Gestión de Riesgos.**

**TITULO: Máster en Prevención y Gestión de Riesgos**

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA ZONIFICACIÓN DE PELIGROSIDAD POR  
MOVIMIENTOS EN MASA EN CUENCAS INTRAMONTANAS: CASO CIUDAD DE LOJA**

**Autor:** Mario Fabián Benavides Rojas.

**Tutor:** Pablo Edilberto Melo Coy.

**Quito, enero, 2019.**



**No.054- 2019.**

## **ACTA DE GRADO**

En el Distrito Metropolitano de Quito, hoy a los veinticinco días del mes de febrero del año dos mil diecinueve, **MARIO FABIAN BENAVIDES ROJAS**, portador del número de cédula: 1102544028, **EGRESADO DE LA MAESTRÍA EN PREVENCIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS (2016-2018)**, se presentó a la exposición y defensa oral de su Artículo Científico, con el tema: **"PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA ZONIFICACIÓN DE PELIGROSIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA EN CUENCAS INTRAMONTANAS: CASO CIUDAD DE LOJA"**, dando así cumplimiento al requisito, previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN PREVENCIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS**.

Habiendo obtenido las siguientes notas:

Promedio Académico:	9.52
Artículo Científico Escrito:	8.45
Defensa Oral Artículo Científico:	9.12

<b>Nota Final Promedio:</b>	<b>9.15</b>
-----------------------------	-------------

  
INSTITUTO DE ALTOS ESTUDIOS NACIONALES  
LA UNIVERSIDAD DE POSGRADO DEL ESTADO


**SECRETARÍA  
GENERAL**

En consecuencia, **MARIO FABIAN BENAVIDES ROJAS**, se ha hecho acreedor al título mencionado.

Para constancia firman:

  
**Mgs. Francisco Chamorro.**  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

  
**Mgs. Guadalupe Jiménez.**  
**MIEMBRO**

  
**Mgs. José Salazar.**  
**MIEMBRO**

  
**Abg. Ximena Carvajal Chiriboga.**  
**DIRECTORA DE SECRETARÍA GENERAL**

De conformidad con la facultad  
prevista en el estatuto del IAEN  
CERTIFICO que la presente es fiel  
copia del original

Fojas 111

Fecha 27 JUN 2019

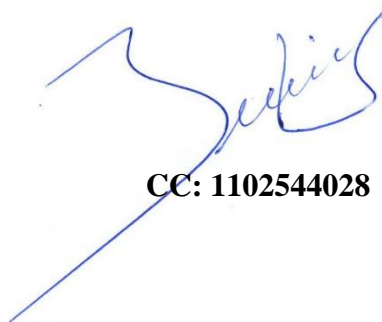
  
Secretaría General



**INSTITUTO DE ALTOS ESTUDIOS NACIONALES**  
LA UNIVERSIDAD DE POSGRADO DEL ESTADO

## **AUTORÍA**

Yo, Mario Fabián Benavides Rojas, con CC. 1102544028, declaro que las ideas, juicios, valoraciones, interpretaciones, consultas bibliográficas, definiciones y conceptualizaciones expuestas en el presente trabajo, así como los procedimientos y herramientas utilizadas en la investigación, son de absoluta responsabilidad del autor del trabajo de titulación. Asimismo, me acojo a los reglamentos internos de la universidad correspondientes a los temas de honestidad académica.



**CC: 1102544028**



**INSTITUTO DE ALTOS ESTUDIOS NACIONALES**  
LA UNIVERSIDAD DE POSGRADO DEL ESTADO

### **AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

"Yo, Mario Fabián Benavides Rojas cedo al IAEN, los derechos de publicación de la presente obra por un plazo máximo de cinco años, sin que deba haber un reconocimiento económico por este concepto. Declaro además que el texto del presente trabajo de titulación no podrá ser cedido a ninguna empresa editorial para su publicación u otros fines, sin contar previamente con la autorización escrita de la universidad"

San Francisco de Quito, D.M. enero 2019.

**MARIO FABIÁN BENAVIDES ROJAS**  
CC: 1102544028



**INSTITUTO DE ALTOS ESTUDIOS NACIONALES**  
LA UNIVERSIDAD DE POSGRADO DEL ESTADO

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de investigación está dedicada la memoria de mis padres, a la fuerza y la fe que me dieron, Betty, Santiago Xavier y Juan Sebastián durante los estudios académicos y durante el desarrollo de este trabajo de investigación y por supuesto a Cecilia mi cariñosa hermana.



**INSTITUTO DE ALTOS ESTUDIOS NACIONALES**  
LA UNIVERSIDAD DE POSGRADO DEL ESTADO

## **AGRADECIMIENTO**

Me gustaría agradecer en estas líneas la ayuda que muchas personas y colegas me han prestado durante el proceso de investigación y redacción de este trabajo, a mi esposa e hijos, al Mgs. Danilo Ortega S. entrañable amigo quien me supo orientar en el quehacer de esta investigación.

Así mismo al Mgs. Pablo Melo, Tutor de la investigación y al Instituto de Altos Estudio Nacionales.

## Tabla de contenido

1.	TÍTULO .....	9
2.	RESUMEN.....	9
3.	PALABRAS CLAVES .....	9
4.	INTRODUCCIÓN .....	10
5.	DESARROLLO .....	12
5.1	Área de Estudio .....	12
5.2	Metodología .....	13
5.3	Diagnóstico Integral: Operacionalización.....	15
5.4	Sistematización y Análisis Cartográfico .....	15
5.5	Generación de Mapas de Análisis de Peligrosidad por Movimientos en Masa .....	16
5.5.1	Metodología Mora Vahrson. ....	16
5.5.2	Metodología SNGRE para la zonificación de amenazas por Movimientos en Masa. .	17
5.5.3	Metodología propuesta.....	17
5.5.3.1	Zonas de Saturación. ....	18
5.5.3.2	Pendientes. ....	18
5.5.3.3	Uso del Suelo. ....	20
5.5.3.4	Litología. ....	20
5.5.3.5	Estructuras geológicas. ....	21
5.5.3.6	Densidad relativa del suelo. ....	21
5.5.3.7	Permeabilidad del suelo. ....	22
5.6	Ponderación Factores .....	23
5.7	Resultados .....	24
5.8	Discusión.....	27
6.	CONCLUSIONES .....	30
7	FUENTES BIBLIOGRÁFICAS. ....	31
8	ANEXOS .....	33

Anexo 2: Metodología Mora Vahrson. ....	34
Anexo 3. Metodología de la Secretaría de Gestión de Riesgos .....	37
Anexo 4. Factores para la metodología propuesta (reclasificados en formato ráster) .	41
Tabla 1: Operacionalización de Factores .....	15
Tabla 2: Clasificación de Zonas de Saturación.....	18
Tabla 3: Clasificación de Pendientes según Lugo 1985. ....	18
Tabla 4: Clasificación del Uso del Suelo .....	20
Tabla 5: Clasificación Litológica según la SNGRE. ....	20
Tabla 6: SPT vs. Densidad Relativa .....	22
Tabla 7: Permeabilidad de suelos .....	22
Tabla 8: Clasificación de las precipitaciones de acuerdo con la intensidad de lluvia propuesta por Mora Vahrson y ajustada para Ecuador por Gustavo Barrantes.....	23
Tabla 9: Ponderación de Factores .....	24
Tabla 10: Clasificación de Zonas de peligrosidad en has por las tres metodologías.....	25
Tabla 11: Puntos de control de deslizamientos.....	26
Figura 1: Ubicación de la Ciudad de Loja .....	13
Figura 2. Esquema Metodológico para la zonificación de Peligrosidad por Movimientos en Masa.....	14
Figura 3: Mapas de Peligrosidad: A) Metodología de Mora Vahrson, B) Metodología de SNGRE, C) Metodología propuesta .....	26



## **1. TÍTULO**

Propuesta Metodológica para la Zonificación de Peligrosidad por Movimientos en Masa en Cuencas Intramontanas: Caso Ciudad de Loja

## **2. RESUMEN**

Los deslizamientos representan uno de los fenómenos más peligrosos que afectan a la población. El objetivo de este trabajo es identificar áreas de amenaza de deslizamientos en cuencas intramontana, citando el caso ciudad de Loja, utilizando una propuesta metodológica que combina las metodologías de Mora Vahrson y del Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGRE), la cual considera factores condicionantes como saturación del suelo, litología, pendientes, uso del suelo, densidad relativa del suelo, la permeabilidad y las estructuras geológicas, y la lluvia como un factor desencadenante. Los resultados obtenidos por las tres metodologías se comparan y se validan con 118 movimientos masivos registrados por la Coordinación de la Zona 7 de Gestión de Riesgos entre los años 2014 y 2017 y con 15 áreas de riesgo de deslizamientos determinadas por el Municipio de Loja. Este análisis comparativo entre esas metodologías mostró que el uso de variables como la saturación, la densidad relativa y la permeabilidad nos permiten identificar de una mejor manera posible las áreas de riesgo de derrumbes.

## **3. PALABRAS CLAVES**

Movimientos en masa, peligrosidad, saturación, permeabilidad, densidad, cuenca intramontana.

## **ABSTRACT**

Landslides represent one of the most dangerous phenomena's that affect population. The aim of this paper is to identify landslides risk areas of intramontana basins, quoting the case of Loja city, by using a modified version of Mora Vahrson methodology that consider conditioning factors such as soil saturation, lithology, slopes, land use, relative density, permeability and geological structures, and rainfall as a trigger factor. Results were compared with the methodology of Mora Vahrson and with the methodology of the Risk Management Department. A validation process were performed by using 118 mass movements registered by 7th Zone Coordination of the Risk Management between the years 2014 and 2017 and with 15 landslide hazard areas surveyed by Loja's Municipality. A comparative analysis among those methodologies showed that the use of variables such as saturation, relative density and permeability allow us to identify in a better way possible landslides risk areas.

## **Key words**

Mass movement, dangerous, saturation, permeability, density, intramontana basins.

## **4. INTRODUCCIÓN**

Los movimientos en masa son parte de los procesos geodinámicos externos, representan modificaciones de las laderas en el ciclo geomorfológico natural y continuo (Scheidegger, 1998). Los deslizamientos según estudios realizados por Naciones Unidas en 2014 obedecen a los asentamientos humanos en las cuencas hidrográficas debido al aumento de la población mundial, cuyas obras de infraestructura básica, al modificar el uso del suelo, alteran las condiciones naturales hidrogeológicas e hidráulicas de la cuenca provocando la desestabilización de las laderas.

Las cuencas intramontanas, específicamente entre las Cordilleras Occidental y Oriental. La Cuenca Koniri (Bolivia); Cuencas de Rumichaca, Cajabamba, Namora (Perú); Cuencas de Loja, Vilcabamba, Nabón, Cuenca, Riobamba, etc. (Ecuador), (Ver Anexo 1 Fig. 1) se caracterizan por procesos de sedimentación grano creciente, en ambientes compresivos controlados tectónicamente por fallas de techo con movimientos hacia el Este. (Morocco, 1991)

El Instituto de Investigaciones Geológicas Mineras y Metalúrgicas, (INIGEMM) en el 2013, indicó que los movimientos en masa constituyen el riesgo natural más extendido en Ecuador. A su vez, Eras (2014) indica que entre 1970 y 2013 se registraron en Ecuador 3113 movimientos de ladera de los cuales el 24% corresponde a Loja, 16% a Cañar el 11% a Azuay, 10% a Chimborazo y 9 % a Imbabura, en la región interandina y el 20% restante corresponde a la región Costa y oriente.

Las estadísticas de la Coordinación Zonal 7 de Gestión de Riesgos (CZ7-SNGRE, 2017) dan cuenta que los deslizamientos es el evento peligroso con mayor presencia en la ciudad de Loja, por lo que en el marco de una normativa local se debe abordar de una manera eficaz el ordenamiento territorial uso y gestión del suelo, en concordancia con la constitución y leyes que le otorgan al GAD Municipal esa competencia.

Por otro lado, la inmigración que ha sufrido la ciudad de Loja en las últimas décadas, pasando de 60.158 habitantes en 1950 a 214.855 habitantes en 2010, lo que significa un incremento del 257,15 % de su población, con una tasa de crecimiento poblacional en el área urbana es de 2,39% y a nivel rural 0,43%, lo que demuestra una tendencia de concentración de la población en el área urbana. (Loja, Municipio, p. 116-118). Esto ha generado áreas inestables dificultando la habitabilidad en ellas, poniendo en riesgos a la población y obras de infraestructura.

Para alcanzar la propuesta del estudio se siguieron ocho pasos descritos en el numeral 5 “Desarrollo”. Primero se realizó una breve descripción del área de estudio y ubicación. Segundo se describe la metodología utilizada para definir las zonas de amenaza en la ciudad de Loja. Tercero se llevó a cabo un diagnóstico integral que consistió en la operacionalización de las variables para la investigación con el fin de recolectar la información necesaria para el desarrollo del análisis. Cuarto se sistematizó toda la información para la construcción de los modelos. Quinto se generaron tres mapas de peligrosidad por movimientos en masa con los métodos de Mora-Vahrson, de la Secretaría de Gestión de Riesgos y la propuesta por el autor que consistió en combinar los dos primeros métodos. El sexto paso se explicó la ponderación de los factores utilizados en la metodología propuesta. Séptimo se presentaron los resultados obtenidos del análisis espacial. Finalmente se discutió los resultados de los modelos aplicados para obtener las zonas de peligrosidad por movimientos en masa en la ciudad de Loja.

## **5. DESARROLLO**

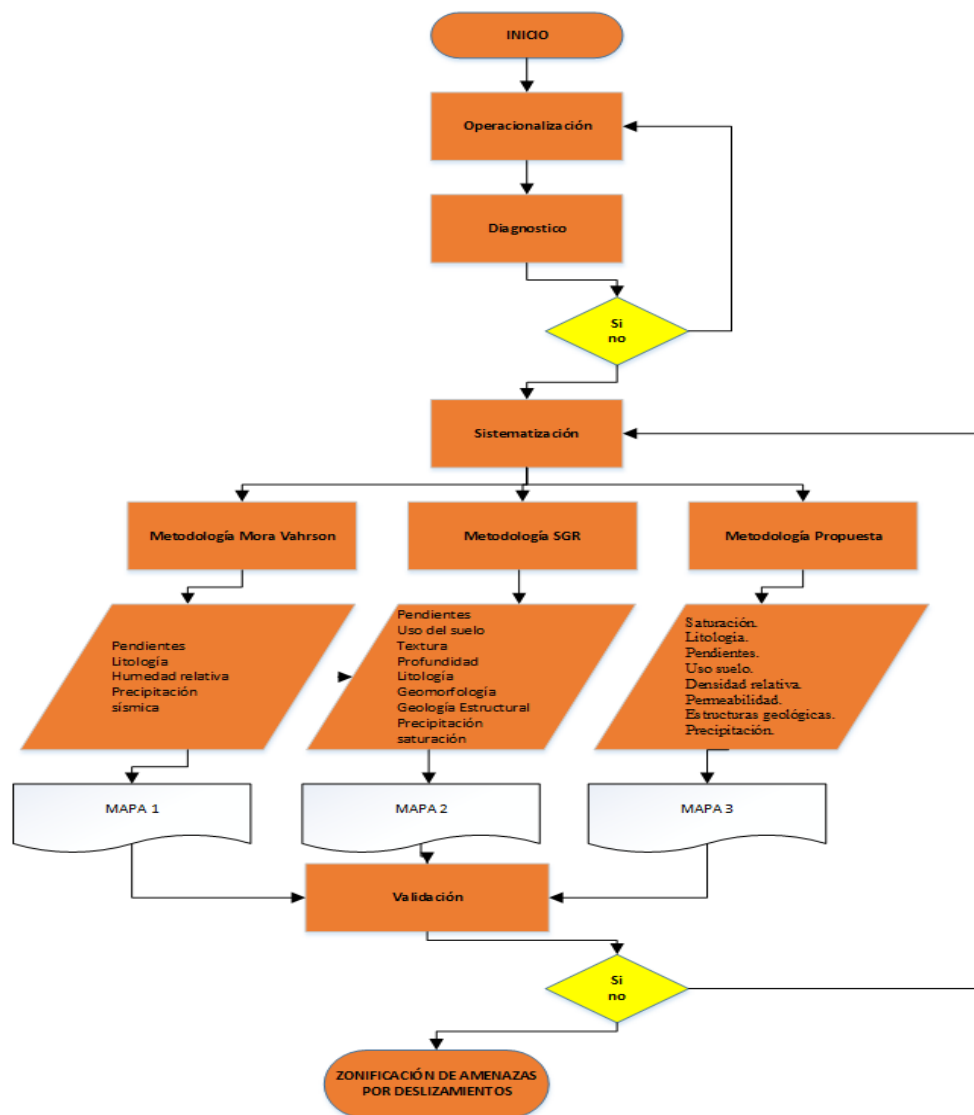
### **5.1 Área de Estudio**

La ciudad de Loja y su entorno suburbano se encuentran ubicados al Sur de la Región Interandina (Sierra) de la república del Ecuador (Sudamérica), en el valle de Cuxibamba, pequeña depresión de la provincia de Loja situada de 1990 a 2577 metros sobre el nivel del mar, a 4° de latitud Sur (PNUMA., et al. 2007), con una extensión aproximada de 5.730 hectárea.

El relieve de la cuenca está controlado por los procesos de compresión de la placa de Nazca sobre la Sudamericana, por los procesos tectónicos locales y por su litología. Las rocas metamórficas (Pizarras, filitas, esquistos grafitosos, cuarcitas) que forman el basamento de la



método heurístico, el mismo que consiste en la utilización de reglas empíricas para llegar a una solución (Bransford y Stein, 1984). El conocimiento que se basa en la utilización de reglas empíricas para llegar a una solución incluye cinco pasos: Identificar el problema; definir y presentar el problema; explorar las estrategias viables; avanzar en las estrategias; y lograr la solución y volver para evaluar los efectos de las actividades (Bransford & Stein, 1987). Para la propuesta metodológica se parte de las metodologías de Mora Vahrson y Secretaria de Gestión de Riesgos, resumidas en la figura 2. Esquema Metodológico para la zonificación de Peligrosidad por Movimientos en Masa.



**Figura 2.** Esquema Metodológico para la zonificación de Peligrosidad por Movimientos en Masa  
**Fuente:** Bransford & Stein (1984)

### 5.3 Diagnóstico Integral: Operacionalización

El diagnostico se inicia con la operacionalización que consiste en la definición de los aspectos, variables e indicadores, fuente que se utilizaron para evaluar la realidad orientando el abordaje de la realidad analizada. En tabla adjunta se sintetiza lo descrito anteriormente.

**Tabla 1:** Operacionalización de Factores

<b>Factores</b>	<b>Variable</b>	<b>Escala</b>	<b>Año</b>	<b>Fuente</b>
Relieve	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pendientes</li> <li>• Geomorfología</li> </ul>	1:5000 1:100000	2010	MAGAP Fotografías aéreas
Geología	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Litología.</li> <li>• Estructuras Geológica y estado tensional.</li> <li>• Permeabilidad.</li> <li>• Saturación.</li> <li>• Sismicidad.</li> </ul>	1:25000  1:5000 1:5000 1:100000	2015; 1973	INIGEMM Levantamiento Geológico. IGEPN.
Uso del suelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asentamientos humanos.</li> <li>• Parques Forestales.</li> <li>• Zonas de Cultivo.</li> </ul>	1:25000	2017	Ortofoto de Loja. Google Earth
Hidrología	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drenajes naturales.</li> <li>• Saturación.</li> </ul>	1:5000	2010	DEM SNGRE
Hidroclimatología	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precipitaciones.</li> <li>• Evapotranspiración.</li> </ul>	1:5000	2011	UTPL; UNL

**Fuente:** Investigación de campo

**Elaborado por:** Benavides Rojas, Mario Fabián

### 5.4 Sistematización y Análisis Cartográfico

A partir del modelo digital de elevación se obtuvo el factor de pendientes, zonas de saturación. De la ortofoto de la ciudad de Loja 2017, se adquirió el factor de uso del suelo y cobertura vegetal. A todos estos factores se los reclasifico en 5 rangos, que van desde 1 muy baja, 2 baja, 3 media, 4 alta y 5 muy alta peligrosidad a movimientos en masa.

Para el análisis de los movimientos en masa se determinaron dos tipos de factores los condicionantes: pendientes, litología, las estructuras geológicas, la cobertura vegetal, la

permeabilidad y densidad del suelo, y los factores detonantes o externos, que provocan la inestabilidad de una zona en la intensidad en que ellos se presenten, estos pueden ser la precipitación y sismicidad.

Toda esta información compilada y elaborada se la trabajó en el sistema de coordenadas planas UTM WGS84, Zona17 S.

## **5.5 Generación de Mapas de Análisis de Peligrosidad por Movimientos en Masa**

### **5.5.1 Metodología Mora Vahrson.**

Esta metodología fue diseñada en Costa Rica para encasillar amenazas por deslizamientos por Sergio Mora y Wilhelm-Guenther Vahrson en 1991 (Mora S. Vahrson W, 1991), utilizando indicadores morfo dinámicos del terreno.

La información se basa en la interacción de los llamados factores de susceptibilidad (relieve relativo, litología, humedad del suelo) y los factores de disparo (actividad sísmica, precipitación). (Ver anexo 2 figura 1)

**Factores de Susceptibilidad:** que intrínsecamente forman parte de las propiedades y comportamiento del medio, constituyéndose en elementos pasivos como las pendientes del terreno, litología y humedad. (Ver Anexo 2 Tablas Nro. 2, 3, 5)

**Factores desencadenantes:** estos inducen desde el exterior hacia un comportamiento dinámico que a partir de las condiciones de los elementos pasivos pueden generar con mayor o menor intensidad los fenómenos de movimientos en masa. Considera la intensidad de sismos y lluvia, ver tablas Nro. (Ver anexo 2 Tablas 4 y 6)

- $H = SUSC * TRIG$
- H: grado de amenaza a movimientos en masa; SUSC: parámetros de susceptibilidad – elementos pasivos; TRIG: parámetros de disparo – elementos activos
- $SUCS = Sp * Sl * Sh$



- Sp: Condicionante pendiente; Sl: Condicionante litología; Sh: Condicionante humedad relativa del suelo
- $TRIG = Ds + DII$
- Ds: Detonante sísmico; DII: Detonante precipitaciones.

### **5.5.2 Metodología SNGRE para la zonificación de amenazas por Movimientos en Masa.**

La metodología aplicada por la Secretaria de Gestión de Riesgos, (Secretaria de Gestión de Riesgos, 2015) para evaluar la amenaza parte del método heurístico con ponderación de variables. (Ver anexo 3 figura1)

El valor de la Amenaza por Movimientos en Masa ( $A_t$ ) se expresa con la siguiente relación:

$$A_t = [\text{pendiente}] * \% + [\text{cobertura vegetal}] * \% + [\text{textura}] * \% + [\text{profundidad}] * \% + [\text{litología}] * \% + [\text{geomorfología}] * \% + [\text{estructural}] * \% + [\text{precipitación}] * \% + [\text{saturación}] * \%$$

En el álgebra de mapas los valores de ponderación se van ajustando de acuerdo con el escenario de estudio y su posición espacial dentro del paisaje natural ecuatoriano (Los Paisajes Naturales del Ecuador-GEDIG-IPGH-IGMORSTOM, 1997) y a la experiencia y conocimiento del técnico en zonas similares. (Ver anexo 3 Tablas Nro. 1-8).

### **5.5.3 Metodología propuesta.**

A los factores se ha clasificado en cinco clases, dándole a cada uno de ellos un peso que comprende de 1 a 5. Considerando a 1 como el de menor incidencia y a 5 como el de mayor incidencia en la zonificación.

#### 5.5.3.1 Zonas de Saturación.

En el trabajo, se definió, analizó y reclasificó mediante el análisis espacial utilizando sistemas de información geográfica donde se obtiene las zonas de saturación, el umbral de saturación, zonas parcialmente húmedas y zonas de baja humedad como se indica en la Tabla Nro. 2. Para la propuesta los rangos de saturación se utilizaron del software ARCVIEW 3.2, pero adicionalmente se dividió a la zona de muy baja humedad en dos partes obteniendo una clasificación de menor rango denominada como “muy baja humedad”, definiendo cinco clases.

**Tabla 2:** Clasificación de Zonas de Saturación.

Rango	Clase	Peso
0 - 0.01	Muy baja humedad	1
0.01 - 0.1	Baja humedad	2
0.1 - 1.1	Parcialmente húmedo	3
1.1 - 2.1	Umbral de saturación	4
2.1 - 3.1	Zona de Saturación	5

**Fuente:** Software ARVIEW 3.2 *Asignación de Pesos* por el Autor.

**Elaborado por:** Benavides Rojas, Mario Fabián

#### 5.4.3.2 Pendientes.

Las pendientes se clasificaron según el método de (Lugo, 1985), quien clasifica en 5 rangos de acuerdo con el ángulo de inclinación del terreno. Para obtener el mapa de pendientes en grados se utilizó el Modelo Digital de Elevación, a una resolución de 3 metros por píxel procesándolo en un Sistema de Información Geográfico, en la Tabla Nro.3

**Tabla 3:** Clasificación de Pendientes según Lugo 1985.

Grado	Condiciones del terreno	Peso
0° - 3°	Planicie	1
3° - 12°	Ligeramente inclinado	2
12° - 30°	Fuertemente inclinado	3
30° - 45°	Intensamente inclinado	4
>45°	Extremadamente inclinado	5

**Fuente:** Lugo 1985 *Asignación de pesos* por el Autor

**Elaborado por:** Benavides Rojas, Mario Fabián

### 5.5.3.3 Uso del Suelo.

En base a la ortofoto, se procesa en SIG, utilizando la herramienta Maximum Likelihood classification, para una clasificación supervisada, generando las firmas espectrales de las coberturas mencionadas en la Tabla Nro. 4.

**Tabla 4:** Clasificación del Uso del Suelo

Clase	Peso
Bosque nativo, intervenido	1
Matorrales, arbustos	2
Pastizal, cultivos permanentes, rastrojo.	3
Cultivos de ciclo corto, vegetación escasa, viviendas	4
Vías, cuerpos de agua, rellenos, rellenos sanitarios, suelo erosionado	5

**Fuente:** SNGRE Reclasificación y asignación de pesos por el Autor.

**Elaborado por:** Benavides Rojas, Mario Fabián

### 5.5.3.4 Litología.

Utilizando la carta geológica de Loja, Escala 1.50.000 elaborada por el (INIGEMM, 2015) y al levantamiento de campo realizado, se generó la clasificación en 5 niveles basados en la categorización de la (Secretaria de Gestión de Riesgos, 2015) y del propio INIGEMM para el área de estudio, dando como resultado la Tabla Nro. 5 con la asignación de pesos correspondientes a cada una de las formaciones geológicas.

**Tabla 5:** Clasificación Litológica según la SNGRE.

Formación geológica	Litología	Pesos.
San Cayetano inferior	Conglomerados con intercalación de areniscas (microconglomerados)	4
San Cayetano superior	Conglomerados puros y conglomerados con capas de arcillolitas (sedimentos fluviales)	5
San Cayetano medio	Limolitas con capas de areniscas, lutitas fuertemente plegadas, limolitas con capas de diatomitas	4
Cuerpos coluviales	Sedimentos sin consolidar, con cantos angulares y redondeados mal sorteados	5
Quillollaco	Conglomerados (sedimentos fluviales)	5
Terrazas aluviales	Sedimentos bien sorteados compuestos por boleos, gravas, arenas y limos	5

Formación geológica	Litología	Pesos.
Formación Trigo	Areniscas gruesas, conglomerados y limolitas	4
Formación Belén	Areniscas gruesas, depósitos conglomeráticos y capas de arcillolita.	4
Formación La Banda	Calizas bandeadas, lutitas y cherts	1
Abanico aluvial	Material aluvial no consolidado, con cantos rodados y sorteados.	5
Cuerpos coluvio aluviales	Sedimentos bien sorteados compuestos por boleas, gravas, arenas y limos.	5
Deslizamientos	Detritos mal sorteados con arcillas y limos.	5
Depósitos Cuaternarios	Depósitos Cuaternarios.	5
Cauce de río	Sedimentos mal sorteados compuestos por boleas, gravas y arenas	5
Unidad Chiguinda	Cuarcitas, filitas, esquistos	3

**Fuente:** INIGEMM-SNGRE Asignación de pesos por el Autor.

**Elaborado por:** Benavides Rojas, Mario Fabián

#### 5.5.3.5 Estructuras geológicas.

Se consideraron las fallas, plegamiento, agrietamientos, contactos etc., en base al mapa nacional de fallas y estructuras geológicas del INIGEMM, que dentro del, área de estudio son importantes en la propuesta, por lo que fueron analizados mediante el uso de los sistemas de información geográfica estableciendo 5 niveles de amenaza, generando una zona de influencia (buffer) de 140m a cada lado donde existen presencia de estas estructuras. Dividiendo en cinco niveles esta distancia, siendo el nivel 1 el más lejano a la estructura y el nivel 5 el más cercano.

#### 5.5.3.6 Densidad relativa del suelo.

Para determinar la densidad relativa de los suelos se utilizaron 469 ensayos de penetración estándar realizados por el Municipio de Loja en el año 2013 y por el Ing. Yan Jumbo en el año 2015 a distintas profundidades, para la metodología propuesta se estableció una profundidad entre 2-4 m quedando un total de 103 ensayos. Estos ensayos fueron clasificados en cinco niveles dependiendo del número de golpes, compacidad y ángulo de rozamiento

interno, de acuerdo con la curva propuesta por Terzaghi (1967) como se indica en la tabla Nro. 6.

**Tabla 6:** SPT vs. Densidad Relativa

<b>Correlación entre el spt y el ángulo de rozamiento interno de suelos granulares</b>			
N (spt)	Compacidad	$\phi$ (°)	Peso
0-4	Muy floja	28	1
4-10	Floja	28-30	2
10-30	Medianamente densa	30-36	3
30-50	Densa	36-41	4
>50	Muy densa	>41	5

**Fuente:** Terzaghi y Peck 1967 Asignación de pesos por el Autor.

**Elaborado por:** Benavides Rojas, Mario Fabián

#### 5.5.3.7 Permeabilidad del suelo.

A partir de los ensayos de laboratorio, realizados por el Municipio de Loja 2013 y el Ing. Yan Jumbo (2015), se clasifico el suelo en base al Sistema Unificado de clasificación de suelos (SUCS) para determinar sus características de permeabilidad, obteniendo 5 niveles de permeabilidad relativa en el área de estudio. A cada uno de los niveles se le asigno pesos de 1 a 5, siendo el nivel 1 para suelos muy permeables hasta 5 correspondiente a suelos Impermeable, como se indica en la tabla Nro. 7.

**Tabla 7:** Permeabilidad de suelos

<b>Tipología de los Suelo</b>	<b>Permeabilidad Relativa</b>	<b>Clasificación SUCS</b>	<b>Peso</b>
<b>GW:</b> Grava Bien Graduada	Muy Permeable	GW, GP, SW, SP	1
<b>GP:</b> Grava Pobremente graduada			
<b>SW:</b> Arena Bien Graduada			
<b>SP:</b> Arena Pobremente Graduada			
<b>GM:</b> Grava limosa	Moderadamente permeable	GM, SM, ML, MH, Pt	2
<b>SM:</b> Arena limosa			
<b>ML:</b> Limos Baja Plasticidad			
<b>MH:</b> Limos Alta Plasticidad			
<b>Pt:</b> Turbas	Baja Poco Permeable	OL	3
<b>OL:</b> Suelos Orgánicos Baja Plasticidad			

<b>GC:</b>	Gravas Arcillosas	Moderadamente Impermeable	GC, SC	4
<b>SC:</b>	Arenas Arcillosas			
<b>CL:</b>	Arcilla Baja Plasticidad	Impermeable	CL, CH, OH	5
<b>CH:</b>	Arcilla Alta Plasticidad			
<b>OH:</b>	Suelo Orgánico Alta Plasticidad			

**Fuente:** Luis Bolaños Blázquez Reclasificación y asignación de pesos por el Autor.

**Elaborado por:** Benavides Rojas, Mario Fabián

#### 5.5.3.8 Precipitación.

Se utilizó el método de GUMBEL. Para el cálculo de lluvias máximas e intensidades de lluvia máxima. Mediante una hoja de cálculo se introdujo los datos de lluvia máximas mensuales de los años 1990 al 2005. Obteniendo las precipitaciones máximas con un periodo de retorno de 100 años. La información procesada se la generó de las Estaciones: La Argelia, Cajanuma, Colegio Militar, El Tambo, Jipiro, Colegio Técnico, San Lucas y Ventanas.

Las principales variables analizadas corresponden a la precipitación máxima, periodo de retorno en años, variable reducida, probabilidad de ocurrencia y corrección de intervalo fijo en mm, cuyos resultados ponderados se los muestra en la siguiente tabla Nro. 8.

**Tabla 8:** Clasificación de las precipitaciones de acuerdo con la intensidad de lluvia propuesta por Mora Vahrson y ajustada para Ecuador por Gustavo Barrantes.

TR100	Descripción	Peso
0-50	Muy bajo	1
50-100	Bajo	2
100-150	Medio	3
150-200	Alto	4
>200	Muy alto	5

**Fuente:** Gustavo Barrantes Reclasificación y asignación de pesos por el Autor.

**Elaborado por:** Benavides Rojas, Mario Fabián

## 5.6 Ponderación Factores

La ponderación de los pesos de los factores o variables se basó en la metodología propuesta por la Secretaría de Gestión de Riesgos de acuerdo con su grado de influencia y

detalle de cada uno de ellos se realizaron doce ensayos para determinar el peso con el cual cada una de las variables se correlacionaba con la realidad y su interrelación en la sumatoria de los factores. Tabla Nro. 9.

**Tabla 9:** Ponderación de Factores

<b>Factor o variable</b>	<b>% de influencia</b>
Saturación	20
Pendientes	15
Uso del suelo	10
Litología	15
Estructuras geológicas	10
Densidad relativa	10
permeabilidad	10
Precipitaciones	10

**Fuente:** Investigación de campo

**Elaborado por:** Benavides Rojas, Mario Fabián

En los sistemas de información geográfica a través del álgebra de mapas se procedió a realizar las operaciones necesarias para la zonificación. Primero se multiplica cada factor por su ponderación. Luego se procede a sumar los resultados de los productos. Para lo cual se utilizó la siguiente ecuación. (Ver anexo 4)

$$\begin{aligned}
 &(\text{Saturación} \times 0.2) + (\text{Pendientes} \times 0.15) + (\text{Uso del suelo} \times 0.1) + (\text{Litología} \times 0.15) + \\
 &(\text{Estructuras geológicas} \times 0.1) + (\text{Densidad relativa del suelo} \times 0.1) + (\text{Permeabilidad} \times 0.1) + \\
 &(\text{Precipitaciones} \times 0.1)
 \end{aligned}$$

## 5.7 Resultados

La aplicación de las tres metodologías en el área de estudio determinó una importante diferencia en número hectárea (ha.) entre la metodología de Mora Vahrson con la metodología de la SNGRE y la propuesta en este trabajo. Mora Vahrson presenta el mayor porcentaje del 87.19% en clasificación media lo que representa 4995,91 hectáreas, la SNGRE, presenta el mayor porcentaje en zonas baja amenaza con un 39.27% es decir

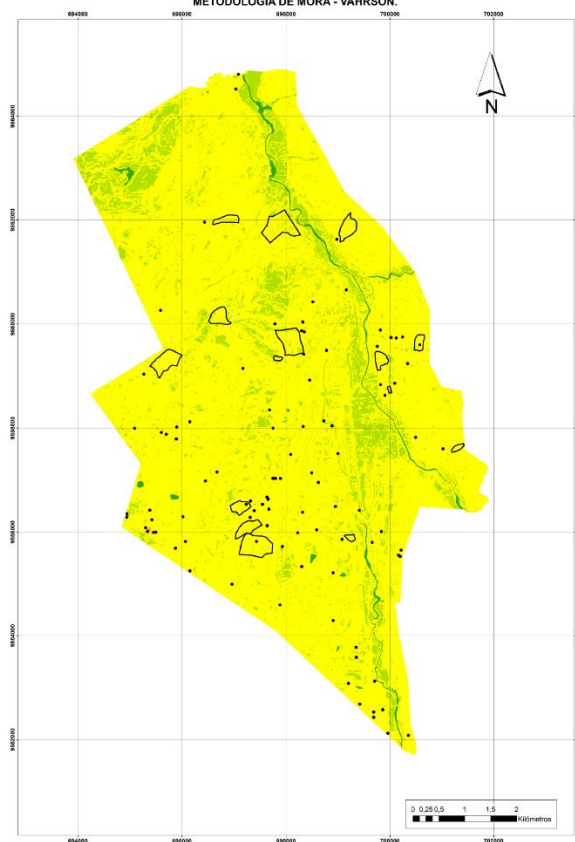


2250.26 ha y por último la propuesta concentra el mayor porcentaje en zonas alta amenaza con el 34.52% que representa a 1978.21 hectáreas, así también en zonas de amenaza media el 25.39% que corresponde a 1562.10 hectáreas. Los resultados se reflejan en la tabla Nro. 10.

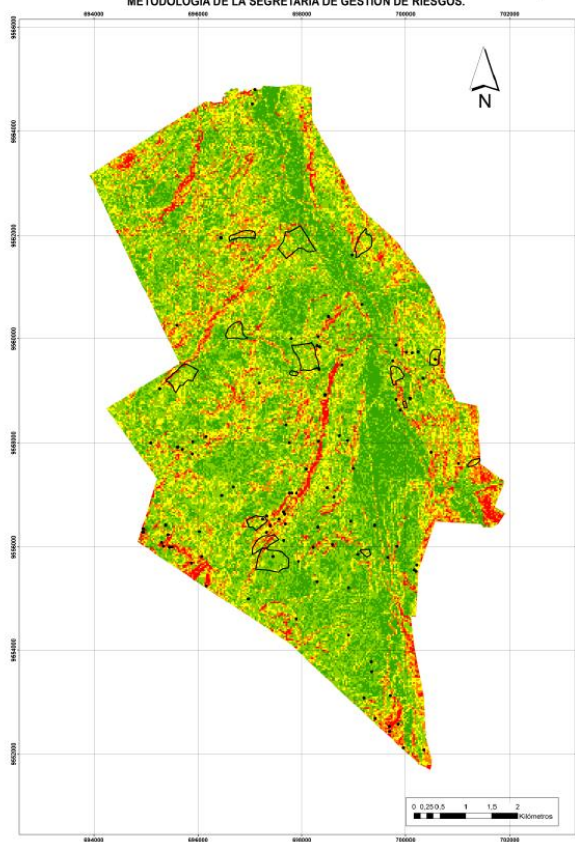
**Tabla 10:** Clasificación de Zonas de peligrosidad en has por las tres metodologías.

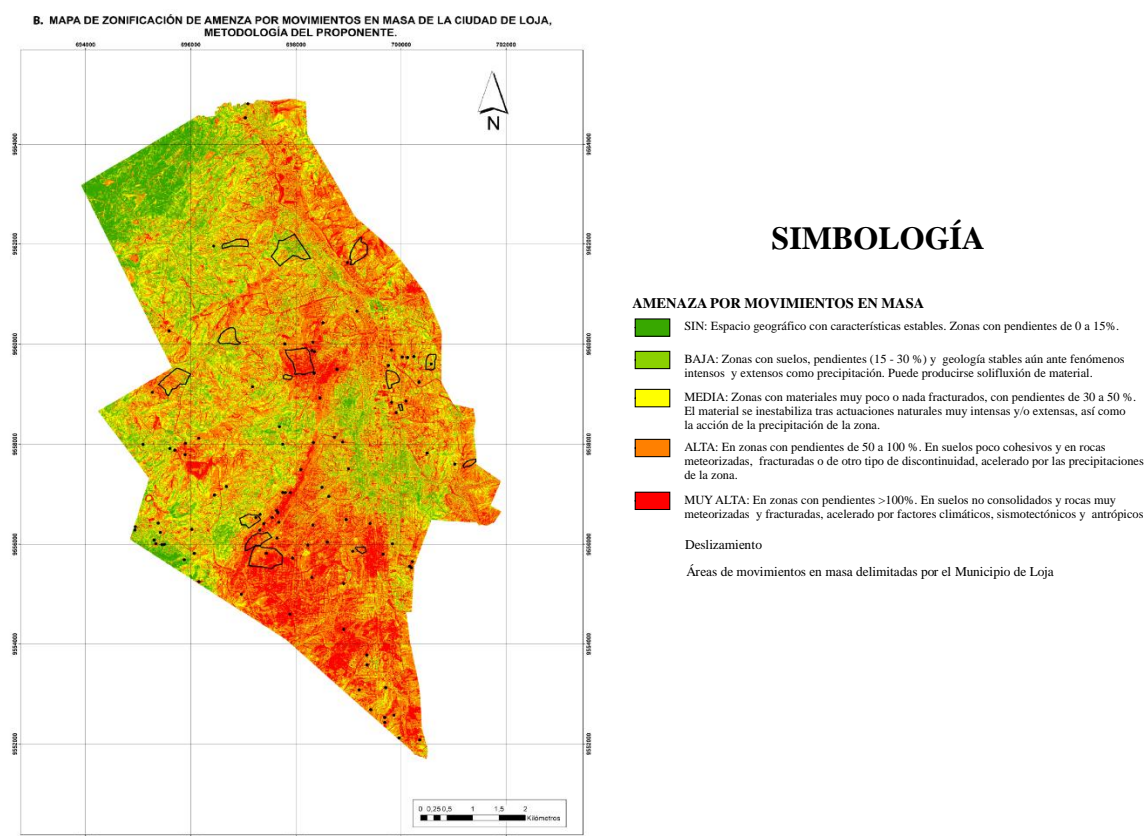
Clasificación	Clasificación de Zonas de peligrosidad en has por las tres metodologías.					
	Mora Vahrson	%	SNGRE	%	Propuesta	%
<b>Muy baja</b>	55,61	0,97%	1455,07	25,39%	496,71	8,67%
<b>Baja</b>	676,12	11,80%	2250,26	39,27%	734,25	12,81%
<b>Media</b>	4995,91	87,19%	1195,03	20,86%	1562,1	27,26%
<b>Alta</b>	2,44	0,04%	587,37	10,25%	1978,21	34,52%
<b>Muy Alta</b>	0	0,00%	242,33	4,23%	958,8	16,73%
<b>Total</b>	5730,08	100%	5730,06	100%	5730,07	100%

A. MAPA DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA DE LA CIUDAD DE LOJA, METODOLOGÍA DE MORA - VAHRSON.



B. MAPA DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA DE LA CIUDAD DE LOJA, METODOLOGÍA DE LA SECRETARÍA DE GESTIÓN DE RIESGOS.





**Figura 3:** Mapas de Peligrosidad: A) Metodología de Mora Vahrson, B) Metodología de SNGR, C) Metodología Propuesta

De acuerdo con la distribución espacial de las cinco clasificaciones en los mapas temáticos realizados por cada metodología, observamos que los movimientos en masa atendidos por la Coordinación Zonal 7 de Gestión de Riesgos en los años del 2014 al 2017 y las zonas de peligrosidad determinadas por el Municipio de Loja (137,01ha.) se establece que la metodología propuesta se acerca más, como se muestra en la tabla Nro. 11

**Tabla 11:** Puntos de control de deslizamientos

Clasificación	Áreas (has) de deslizamientos determinadas por el Municipio de Loja					
	Mora-Vahrson	%	SNGRE	%	Propuesta	%
<b>Muy Baja</b>	6,21	4,53%	19,31	14,09%	6,36	4,64%
<b>Baja</b>	0	0,00%	63,45	46,31%	11,43	8,34%
<b>Media</b>	130,8	95,47%	35,21	25,70%	30,77	22,46%
<b>Alta</b>	0	0,00%	14,41	10,52%	56,33	41,11%
<b>Muy Alta</b>	0	0,00%	4,63	3,38%	32,12	23,44%
<b>TOTAL</b>	137,01	100%	137,01	100%	137,01	100%

**Clasificación Puntos de Control 118 Deslizamientos CZ7GR**

	Mora-Vahrson	%	SNGRE	%	Propuesta	%
<b>Muy Baja</b>	3	2,54%	16	13,56%	4	3,39%
<b>Baja</b>	1	0,85%	45	38,14%	2	1,69%
<b>Media</b>	114	96,61%	31	26,27%	14	11,86%
<b>Alta</b>	0	0%	18	15,25%	55	46,61%
<b>Muy Alta</b>	0	0%	8	6,78%	43	36,44%
<b>TOTAL</b>	118	100%	118	100%	118	100%

**Fuente:** Gustavo Barrantes Reclasificación y asignación de pesos por el Autor.

**Elaborado por:** Benavides Rojas, Mario Fabián

## 5.8 Discusión

La cuenca de Loja se encuentra constituida por rocas sedimentarias, como lutitas calcáreas limolitas, conglomerados en una matriz limo arcilloso, lentes de areniscas y arenas, este tipo de rocas sedimentarias de grano fino permite la retención de agua estableciendo en algunos casos niveles colgados de corrientes de agua, provocando diferentes niveles de motorización. Las rocas granulares en cambio permite la percolación de agua a través de sus intersticios, produciendo dos efectos el primero desde el punto de vista del balance que debe existir entre la generación de la presión de poros y su disipación, lo cual es fundamental para la ocurrencia de movimientos en masa (Paradel, 1993) (Wang&Sassa, 2003). El segundo determinado por el arrastre de finos a profundidades subsuperficiales, generando su saturación, debido a lluvias antecedentes, determinando la formación de películas de deslizamiento las que por la fuerza de la gravedad y peso de la masa se transforma en una aérea de movimiento.

A decir de Soto (2018) Las arcillas del grupo de las esméctica, son comunes en la cuenca sedimentarias del neógeno como las cuencas de Azogues, Cuenca, Vilcabamba y Malacatos, en la cuenca de Loja se presenta en las formaciones San Cayetano, Belén, Trigal, asociadas a

la generación de deslizamientos como a la ubicación de planos en las zonas de mayor concentración de este tipo de arcillas, con pendientes de suaves a moderadas.

Benavides M. Benavides L. (2002), determinó la presencia de arcillas esmécticas (arcillas expansivas) a través de ensayos de difracción de rayos X en la parte noroccidental de la cuenca, sectores que coinciden con la caracterización de alta y muy alta peligrosidad en el mapa temático de la metodología propuesta y con los sitios problema identificados por el municipio de Loja en la zona norte.

De acuerdo con los rangos propuestos en la metodología de Mora Vahrson el territorio de la ciudad de Loja se clasificó en un 87% como zona de mediano riesgo a movimientos en masa, puesto que los parámetros utilizados no representan en su totalidad las características reales del terreno.

La metodología propuesta por el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGRE) presenta un 39% como una zona de bajo riesgo, debido a que no se consideran rangos límites para cada nivel de amenaza, es decir utiliza una clasificación geométrica determinada por el software utilizado, en el cual sin importar los valores altos o bajos siempre va a tener los cinco niveles de amenaza.

La metodología propuesta, zonificó los porcentajes más altos en la ciudad de Loja en amenaza media con el 27% y alta con el 35%, se atribuye a la incorporación de la saturación del suelo, más información litológica con los campos de permeabilidad y densidad relativa del suelo basadas en información geomecánica existente en los organismos de desarrollo local, y el uso del suelo como un proceso antropogénico.

A estas metodologías se les sobrepuso los polígonos de movimientos en masa determinados por el Municipio de Loja, así como los movimientos en masa atendidos por la Coordinación Zonal 7 de Gestión de Riesgos, donde se determinó lo siguiente:

En la metodología de Mora Vahrson, los polígonos y los puntos que representan los movimientos en masa recayeron en un 95% y 97% respectivamente, en las zonas de mediana amenaza, como es lógico debido a lo señalado en acápites anteriores. Eso quiere decir que es necesario realizar estudios de geológicos y geotécnicos y de mejoramiento del suelo para ser aprovechados en la edificación de obras de infraestructura, esto no concuerda con la realidad de lo observado en terreno y corroborado por la ubicación de los movimientos en masa que se han producido en la ciudad de Loja.

En la metodología del SNGRE, los polígonos y puntos que representan los movimientos en masa se ubican en la zona de baja peligrosidad en porcentajes del 63% y 45% respectivamente, esto quiere decir que se trata de zonas estables que requieren medidas correctivas menores, para el emplazamiento de obras de infraestructura, sin embargo, esta clasificación no concuerda con la realidad ya que se trata de zonas con una fuerte presencia de Movimientos en Masa.

En la metodología propuesta, los polígonos y puntos recayeron sobre zonas de alta y muy alta a movimientos en masa que corresponde al 41% y 47% respectivamente, lo que advierte una zona en la cual no se recomienda la construcción de obras de infraestructura sin antes realizar estudios de estabilidad a detalle e implementar medidas correctivas.

La saturación, el uso del suelo y la geología marcan los fenómenos de movimientos en masa para el caso de la ciudad de Loja.

## **6. CONCLUSIONES**

La ciudad de Loja está emplazada en áreas potenciales a sufrir fenómenos peligrosos por movimientos en masa por las condiciones intrínsecas que rodean su conformación natural, así como por los factores desencadenantes.

La metodología propuesta para la zonificación de Movimientos en masa en la ciudad de Loja establece un rango de diferencia importante con las metodologías de Mora Vahrson y la SNGRE., mostrando de una manera más fehaciente la distribución territorial de la ciudad con respecto a las diferentes categorías de peligrosidad.

La cuenca de Loja, litológicamente se encuentra constituida por rocas sedimentarias las que, al encontrar una variación morfológica, se constituyen en agentes de retención de agua provocando en ocasiones una sobresaturación, consecuentemente alteraciones en la capacidad mecánica de los suelos, así como en las condiciones hidrogeológicas, estas áreas se encuentran claramente expuestas en el mapa resultante de la metodología propuesta.

Los sectores periféricos de la ciudad densamente poblados y económicamente vulnerables provocan condiciones de inestabilidad de las laderas al no contar con servicios de alcantarillado sanitario y pluvial, contribuyen al incremento de la tasa de infiltración y humedecimiento del subsuelo a través de los pozos sépticos.

## 7 FUENTES BIBLIOGRÁFICAS.

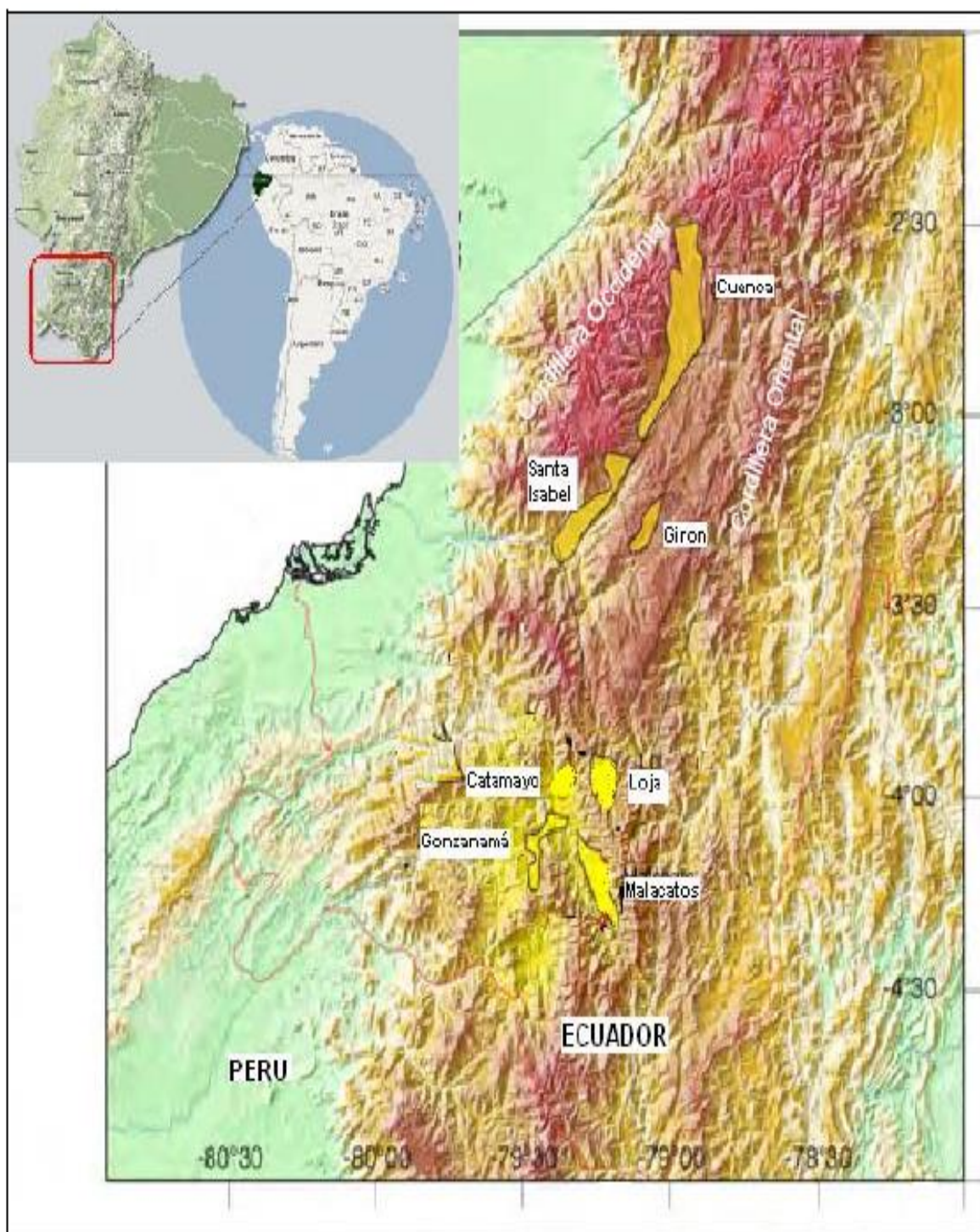
- Alcantara, I. (2000). Landslides, deslismientos o movimientos en masa del terreno definición clasificación y terminología. *Scielo N° 4*, Recuperado de versión On-line ISSN 2448-7279 versión impresa ISSN 0188-4611.
- Barrantes, G., Barrantes, O., & Níñez, O. (2011). Efectividad De La Metodología Mora-Vahrson Modificada En El Caso De Los Deslizamientos Provocados Por El Terremoto De Cinchona. *Geológica de América Central N° 47*, 141-162.
- Benavides, M., & Benavides, L. (2002). *Caracterización evaluación y posibles usos industriales de las arcillas del sector norte de la cuenca de Loja y Barrio Cera*. Loja : Tesis de ingeniero en geología y minas de la Universidad Técnica Particular de Loja.
- Bransford, J. D., & Stein, B. S. (1987). *Trad Cast: solución ideal de problemas*. Madrid : Labor.
- Campbell, R. (1975). Soil slips, debris flows and rainstorms in the Santa Monica Mountains and vicinity, southern California. *USGS professional Paper* , 851-51.
- Checa, M. D. (2009). *Reducción de Vulnerabilidad y Aumento de Sosténimiento de Infraestructura Urbana en Condiciones Geológicas Desfavorables Ciudad de Loja, proyecto RP/4/2007*. Loja .
- Gad Municipal de Loja. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón (2014-2019)*. Municipio de Loja.
- González, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2003). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson.
- Guartan, J. (2010). *“Zonificación Sísmica de la Cuenca de Loja (Ecuador), a Partir de Datos Litológicos y Medidas de Ruido Ambiental”*. *Disertación Magister*. Loja : Universidad de Granada.
- Hungerbühler D., S. M. (2002). *Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador*.
- Instituto Nacional de Investigaciones Minero Metalúrgica (INIGEMM). (2013). *Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del Ecuador, escala 1:1'000,000*. Technical report. Unpublished.
- Instituto Nacional de Investigaciones Minero Metalúrgicas (INIGEMM). (2015). *Carta geológica de Loja escala 1:50000*. Loja .
- Jumbo, Y. (2015). *Mapa de zonificación geotécnica de la Hoya de Loja*. Pregrado geología y minas Universidad Técnica Particular de Loja.
- Li, X., & Arroyo, V. (2011). Impacto de la fuerza de filtración y tipificación retrocedida a la inestabilidad de talud y erosión hídrica. *Revista Digital Universitaria. Vol 12*

- Lugo, H. J., Cordero, E. M., & Zamorano, O. J. (1995). *Relieve, litología y riesgos en la zona urbana de la delegación*. México : UNAM, Instituto de geología.
- Mora, S., & Vahrson, W. (1991). Determinación a priori Amenaza de Deslizamientos Utilizando Indicadores Morfodinámicos. 32-42.
- Mora, S., & Vahrson, W. G. (1994). Macrozonation Methodology Landslide Hazard Determination. . *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, XXXI, 49–58.
- Morocco, R. (1991). *Sedimentación Neogena de los Andes Centrales: Implicaciones geodemicas*. . Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile: Congreso Geológico.
- PMA GCA,. (2007). , Movimientos en masa en la región andina: guía para la evaluación de amenazas. Vancouve. Servicio nacional de Geología y Minería . *Publicaciones Geológicas Multinacionales*, No 4, 432.
- PMA GCA,. (2009). Atlas de Deformaciones Cuaternarias de los Andes, Vancouver, Servicio nacional de Geología y Minería. *Publicaciones Geológicas Multinacionales* No 7, 320.
- Scheidegger, A. E. (1998). *Tectonic predesign of mass movements with examples from the Chinese Himalaya. Geomorphology*. Recuperado de: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_nlinks&pid=S0120-0283201700020004900029&lng=en](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&pid=S0120-0283201700020004900029&lng=en).
- Secretaria de Gestión de Riesgos y UNISDR. (2014). *Ecuador: Basic Refernces for Risk Management*. Quito.
- Secretaria de Gestión de Riesgos y UNISDR. (2015). *Ecuador: Propuesta Metodológica para el Análisis de Amenaza por Movimientos en Masa*. Quito.
- Soto, J. (2018). *Análisis de peligrosidad frente a los movimientos de laderas la cuenca de Loja*. Ecuador : Tesis doctoral. Universidad de Granada .
- Suárez, J. (1998). Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales . *Bucaramanga*, Publicaciones UIS.
- Tamay, J. (2010). “*Control Tectonico Estructural de la Cuenca de Loja*”, *Disertación Magister. Granada*. . Granada-España: Universidad de Granada.
- Varnes, D. (1958). Landslide Types and Processes. In E. B. Eckel . *Landslides in Engineering Practice* , Recuperado de: <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/sr/sr29-004.pdf>.
- Varnes, D. J. (1978). Slope Movement Types and Processes. In R. L. Schuster & R. J. Krizek (Eds.) *Landslides: Analysis and Control* . Washington, D.C: *Transportation Research*



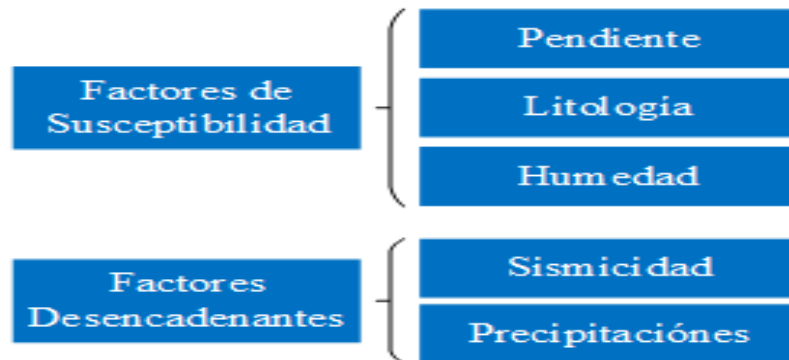
## 8 ANEXOS

### Anexo 1: Ubicación de Cuencas Intramontañas del Sur del Ecuador



**Figura 4:** Mapa de Ubicación de Cuencas Intramontaña del Sur del Ecuador  
**Fuente:** Tamay J 2010

## Anexo 2: Metodología Mora Vahrson.



**Figura 5:** Esquema de Factores Condicionantes y detonantes Mora Vahrson

**Fuente:** Investigación de campo

**Tabla 1:** Clasificación de Pendientes.

Grado	Porcentaje	Condiciones del terreno	Pesos
0-2	0-2	Planicie, sin denudación apreciable	0
2-4	2-7	Pendiente muy baja, peligro de erosión	1
4-8	7-15	Pendiente baja, peligro severo de erosión	2
8-16	15-30	Pendiente moderada, deslizamientos ocasionales, peligro severo de erosión	3
16-35	30-70	Pendiente fuerte, procesos denudacionales intensos, peligro extremo de erosión	4
35-55	70-140	Pendiente muy fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, reforestación posible	5
>55	>140	Extremadamente fuerte afloramientos rocosos, procesos denudacionales severos, cobertura vegetal limitada	6

**Fuente:** Metodología Mora Vahrson

**Elaborado por:** Benavides Rojas, Mario Fabián

**Tabla 2:** Clasificación de litología

SI	Litología	Características físico-mecánicas
1	Aluviones: gruesos, permeables, compacto, con nivel freático bajo. Calizas: duras, permeables. Intrusivos: poco fisurados, bajo nivel freático. Basaltos, andesita, ignimbritas y similares: sanas, permeables y poco fisuradas. Rocas metamórficas: sanas, poco fisuradas, nivel freático bajo.	Sanos con poco o ninguna meteorización, resistencia a la corte elevada, fisuras sanas sin rellenos.

2	Rocas sedimentarias: poco alteradas, estratificación maciza (decamétrica o métrica), poco fisuradas, nivel freático bajo. Rocas intrusivas, calizas duras, lava, ignimbritas o metamórficas: medianamente fisuradas o alteradas, nivel freático a profundidades intermedias.	Resistencia a la corte media a elevada, fracturas cizallables.
3	Rocas sedimentarias, rocas intrusivas, calizas duras, lava, ignimbritas, tobas poco soldadas o metamórficas: medianamente alteradas. Coluvios, lahares, arenas, suelos regolíticos levemente compactados: drenaje poco desarrollado, niveles freáticos relativamente altos.	Resistencia al corte: moderada a media, fracturación importante.
4	Aluviones fluvio-lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, sectores de alteración hidrotermal, rocas fuertemente alteradas y fracturadas con estratificaciones y foliaciones a favor de la pendiente, con rellenos arcillosos, niveles freáticos someros.	Resistencia al corte: moderada a baja.
5	Materiales aluviales, coluviales y regolíticos de muy baja calidad mecánica: con estado de alteración avanzado, drenaje pobre, se incluyen las categorías 3 y 4 con niveles freáticos muy someros, sometidos a gradientes hidrodinámicos muy elevados.	Resistencia al corte: muy baja, materiales blandos con muchos finos.

**Fuente:** Metodología Mora Vahrson

**Elaborado por:** Benavides Rojas, Mario Fabián

**Tabla 3:** Clasificación de humedad relativa

Humedad	Descripción	Pesos
0-4	Muy bajo	1
5-9	Bajo	2
10-14	Medio	3
15-19	Alto	4
20-24	Muy alto	5

**Fuente:** Metodología Mora Vahrson

**Elaborado por:** Benavides Rojas, Mario Fabián

**Tabla 4:** Clasificación de la sismicidad

Intensidad	Aceleración	Ds
I	0.3-0.6	1
II	0.6-1.1	2
III	1.1-2.2	3
IV	2.2-4.5	4
V	4.5-8.5	5
VI	8.9-17.7	6
VII	17.7-35.4	7
VIII	35.4-70.5	8
IX	70.5-140.8	9
X	140.8-280.8	10
XI	280.8-560.4	11
XII	<560.4	12

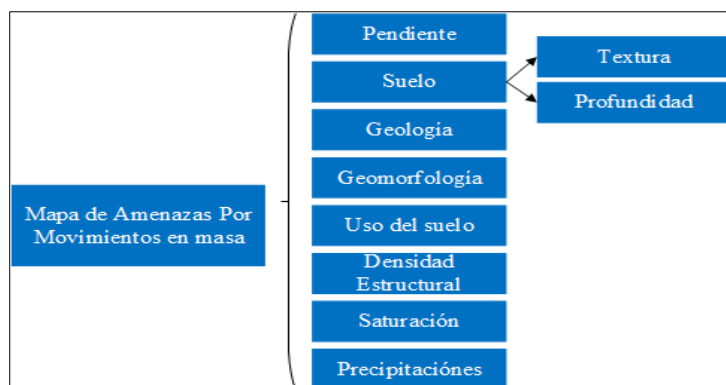
**Fuente:** Metodología Mora Vahrson  
**Elaborado por:** Benavides Rojas, Mario Fabián

**Tabla16:** Clasificación de Precipitaciones

Lluvia TR100	Descripción	Pesos
0-50	Muy bajo	1
50-100	Bajo	2
100-150	Medio	3
150-200	Alto	4

**Fuente:** Metodología Mora Vahrson  
**Elaborado por:** Benavides Rojas, Mario Fabián

### Anexo 3. Metodología de la Secretaría de Gestión de Riesgos.



**Figura 1:** Esquema de Variable para la elaboración del Mapa de Amenazas por Movimientos en masa.

**Fuente:** Investigación de campo

Rango (%)	Clase	Peso
0-15	Muy baja	1
15-30	Baja	2
30-50	Media	3
50-70	Alta	4
>70	Muy alta	5

**Tabla 1:** Rango de pendientes

**Fuente:** Metodología de la SNGRE

**Elaborado por:** Benavides Rojas, Mario Fabián

**Tabla 2:** Textura de texto

Tipo	Profundidad	Peso
Profundo	>100cm	1
Moderadamente profundo	51-100cm	2
Poco profundo	21-50 cm	3
Superficial	11-20cm	4
Muy superficial	0-10cm	5

**Fuente:** Metodología de la SNGRE

**Elaborado por:** Benavides Rojas, Mario Fabián

**Tabla 3:** Formación geológica

Formación geológica	Litología	Pesos
		SNGRE
San Cayetano inferior	Conglomerados con intercalación de areniscas (microconglomerados)	4
San Cayetano superior	Conglomerados puros y conglomerados con capas de arcillolitas (sedimentos fluviales)	5
San Cayetano medio	Limolitas con capas de areniscas, lutitas fuertemente plegadas, limolitas con capas de diatomitas	4
Cuerpos coluviales	Sedimentos sin consolidar, con cantos angulares y redondeados mal sorteados	5
Quillollaco	Conglomerados (sedimentos fluviales)	5
Terrazas aluviales	Sedimentos bien sorteados compuestos por boleos, gravas, arenas y limos	5
Formación Trigal	Areniscas gruesas, conglomerados y limolitas	4
Formación Belén	Areniscas gruesas, depósitos conglomeráticos y capas de arcillolita.	4
Formación La Banda	Calizas bandeadas, lutitas y cherts	1
Abanico aluvial	Material aluvial no consolidado, con cantos rodados y sorteados	5
Cuerpos coluvio aluviales	Sedimentos bien sorteados compuestos por boleos, gravas, arenas y limos	5
Deslizamientos	Detritos mal sorteados con arcillas y limos	5
Depósitos Cuaternarios	Depósitos Cuaternarios	5
Cauce de río	Sedimentos mal sorteados compuestos por boleos, gravas y arenas	5
Unidad Chiguinda	Cuarcitas, filitas, esquistos	3

**Fuente:** Metodología de la SNGRE**Elaborado por:** Benavides Rojas, Mario Fabián**Tabla 4:** Uso del Suelo y Cobertura Vegetal

Clase	Peso
Bosque nativo	1
Bosque intervenido (plantaciones forestales)	2
Matorrales	3
Arboricultura	
Cultivos permanentes	
Pasto natural	4
Cultivos de ciclo corto	
Suelos desnudos	5

**Fuente:** Metodología de la SNGRE**Elaborado por:** Benavides Rojas, Mario Fabián

**Tabla 5:** Permeabilidad

<b>Tipo</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Peso</b>
Profundo	>100cm	1
Moderadamente profundo	51-100cm	2
Poco profundo	21-50 cm	3
Superficial	11-20cm	4
Muy superficial	0-10cm	5

**Fuente:** Metodología de la SNGRE**Elaborado por:** Benavides Rojas, Mario Fabián**Tabla 6:** Textura del suelo

<b>Máxima textura</b>	<b>Descripción</b>	<b>Reclas.</b>	<b>Peso</b>
11	Arenoso (fina, media, gruesa)	Gruesa	5
12	Arenoso franco		
21	Franco arenoso (fino a grueso)		4
32	Limoso		
31	Franco	Media	3
22	Franco-limoso		
34	Franco arcillo - arenoso		
35	Franco arcillo - limoso		
44	Arcillo limoso	Fina	2
43	Arcillo arenoso		
33	Franco arcilloso (<35% arcilla)		
41	Franco Arcilloso (>35%)		
42	Arcilloso		1
51	Arcillosos (>60%)		

**Fuente:** Metodología de la SNGRE**Elaborado por:** Benavides Rojas, Mario Fabián

<b>Estructuras y Lineamientos</b>	
Clase	Peso
Concentración estructural muy baja	1
Concentración estructural baja	2
Concentración estructural media	3
Concentración estructural alta	4
Concentración estructural muy alta	5
<b>Estructuras y Lineamientos</b>	
Clase	Peso
Concentración estructural muy baja	1
Concentración estructural baja	2
Concentración estructural media	3
Concentración estructural alta	4
Concentración estructural muy alta	5

**Tabla 6:** Lineamientos estructurales

**Fuente:** Metodología de la SNGRE

**Elaborado por:** Benavides Rojas, Mario Fabián

**Tabla 23:** Grado de amenazas

<b>Sin Amenaza</b>	<b>Compren de áreas relativamente estables pendientes no mayores al 15%</b>
Amenaza baja	pendientes entre el 15 al 30%, materiales geológicos estables aun ante fenómenos intensos y extensos como la precipitación. Pueden producirse solifluxión
Amenaza media	materiales muy poco o nada fracturados con pendientes entre el 30-50% el material se inestabilidad tras fenómenos naturales intensos y extensos
Amenaza alta	terrenos favorables a la ocurrencia de movimientos en masa en temporadas lluviosas. Pendientes entre el 50-100%
Amenaza muy alta	Zonas denudativas o con poca presencia de cobertura vegetal. Pendientes mayores al 100%, suelos muy meteorizados y fracturados

**Fuente:** Metodología de la SNGRE

**Elaborado por:** Benavides Rojas, Mario Fabián



#### Anexo 4. Factores para la metodología propuesta (reclasificados en formato ráster)

